

星野写真による 星の等級の測定

新潟県立六日町高等学校教諭

吉 田 専 一

はじめに

恒星の性質を調べることは光度、スペクトル型を調べるのが最も大切である。最近、流星については、スペクトル撮影ということで一般アマチュアや学校のクラブ活動などでも行なえるような方法が紹介されている。¹⁾

光度の測定には三つの方法がある。

A・実視観測法^{2) 3) 4)}

B・電気露出計による方法⁵⁾

C・写真による方法⁶⁾

このうちC・は写真測光法ということになるが、これはフィルムまたは乾板を保存しておき、後刻測定できるという点で都合がよいので、現在専門的な研究に用いる場合には、ネガの星像を濃度計⁷⁾にかけて、一つ一つの像の黒味を調べる方法がとられ、そのためには高価な設備を必要とするのでアマチュアや学校にむいた方法とは考えられない。

一方藤波氏の「小型カメラによる天体写真」⁸⁾ 発刊と前後して「科学の実験」、「天文と気象」、「月刊・天文ガイド」の諸雑誌に星野写真がのせられるようになってきている。これは星座に親しむという面から効果があると思うが、さらに進めて、等級の測定に手軽に利用することはできないものであろうか。もし可能ならば星座への興味を倍加し、ひいては天文への関心をますます高めるものと思い、色々な方法を考えてみた。

測定方法は星野写真として撮ったフィルムを次の四通りの方法でおこなった。

(1) ネガ・フィルムを幻灯機で投影し、次の二つの方法をおこなった。

イ 星像の黒味を光抵抗体または照度計を用いて測定する。

ロ 星像の幅を求める。

(2) 陰画紙に焼き付けて、星像の幅を測定する。

(3) 顕微鏡を用いてフィルムの像の大きさを対物または接眼マイクロ・メーターで測定する。

この結果では

(1) イ の方法は、時間があまりにもかかりすぎ、そのうえ、精度が悪く良い方法とは考えられない。

(1) ロ および(2)の方法は、大体同じような結果を得ることがで

きる。

(2)の方法は、広い場所を必要としない点で便利であると考えられる。

(3)の方法は、像とマイクロ・メーターの目盛りが見分けにくいのでにくい。

したがって以下(2)の方法について述べ、他の方法については、参考程度にとどめた。

I 陰画紙に焼き付けてその像の幅を測定する方法

1 星野写真

フィルムはX線有孔フィルム(35mm用)のサクラまたはフジを主として用いた。ASA感度はほぼ400である。

(1) 準備

(イ) X線フィルムは3本1カンに入れて売っているので、あらかじめ3本ともパトローネにつめかえておく。

(ロ) 三脚は雲台の大きいしっかりしたもので、あらゆる方向に向けられるものを用いる。

(ハ) ストップ付レリーズとストップ・ウォッチを用意しておく。

(2) 撮影

撮影法は省略(詳細は「小型カメラによる天体写真」⁽⁸⁾ 参照)

2 現像・焼き付け

(1) 現像

Konidol Superを用いて2〜3倍の強力現像をした。

(2) 焼き付け

キャビネ特サイズの陰画紙(月光R4)を用いた。露光量は普通の写真の引き伸ばしの時に比べて思い切り少なめにし、空の部分が暗灰色になる程度にとどめた。

3 尺度の作り方

尺度の作り方は70cmのグラフ用紙に図2のように白い部分を20mm, 19mm, 18mm, 17mm, 16mm, 15mm, 14mm, 13mm, 12mm, 11mm, 10mm, 9mm, 8mm, 7mm, 6mm, 5mm, 4mm, 3mm, 2mmとあけ、あとは黒くぬりつぶした。この図をミニコピーフィルムで撮影した。撮影は適正露出4倍量にすると、明暗がはっきりした。これを密着で焼き付けると70cmの辺が(25.7±0.1)mmに縮まり、

$$\frac{25.7}{70.00} \pm \frac{1}{70.00} = 0.367 \pm 0.0014$$

$$\text{または} \quad = \frac{1}{27.3} \pm \frac{1}{70.00}$$

となり20mmは $20 \times \frac{1}{27.3} \text{ mm}$, 19mmは $19 \times \frac{1}{27.3} \text{ mm}$ の大きさになり1段階ちがうごとに $1 \times \frac{1}{27.3} \text{ mm}$ ずつ小さくなっていくことになる。

4 星像の測定

密着によって図1のような写真ができる。

図 1

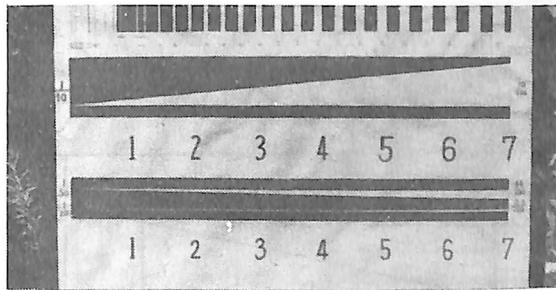
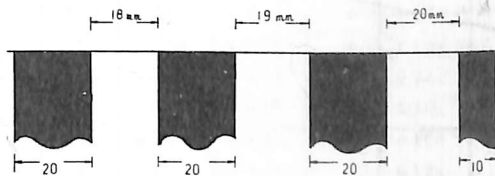
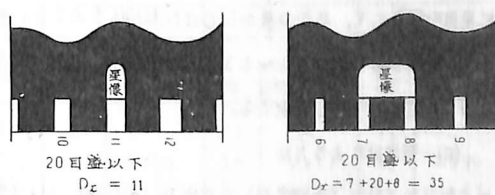


図 2



測定方法は図3に示すように星像の白い所の幅が図1の白い所のどこに合うかを調べて、その場所の数字を D_x とする。

図 3



測定には解剖顕微鏡10倍のレンズを用いた。

5 星の光度と星像の幅との関係

いま基準となる等級を m_0 、求める星の等級を m_x 、これに対応する星の光度を ℓ_x 、 ℓ_0 とすればポグソンとフェヒナーの法則により

$$\frac{\ell_x}{\ell_0} = (5 \sqrt{100})^{m_0 - m_x}$$

$$\therefore \log \frac{\ell_x}{\ell_0} = 0.4 (m_0 - m_x) \quad (1)$$

$$\therefore \ell_x = \ell_0 \exp \{0.4 (m_0 - m_x)\} \quad (2)$$

(1)式より、片対数グラフの横軸に等級、縦軸の対数目盛に ℓ_x/ℓ_0 をとれば

$$\log \propto (m_0 - m_x) \quad (3)$$

であるから直線グラフが得られる。

また基準となる星の光度を1とすれば、それより数等級離れた星の ℓ_x/ℓ_0 は(2)により $\exp \{0.4 (m_0 - m_x)\}$ で表わされる。

写真の星像の幅は、星の光度に比例するものとすれば光度 ℓ_x 、 ℓ_0 は星像の幅 D_x 、 D_0 で書き換えられ、上記各式ともそのまま用いられる。

〔実例〕'65 VII 29d 225hの琴座

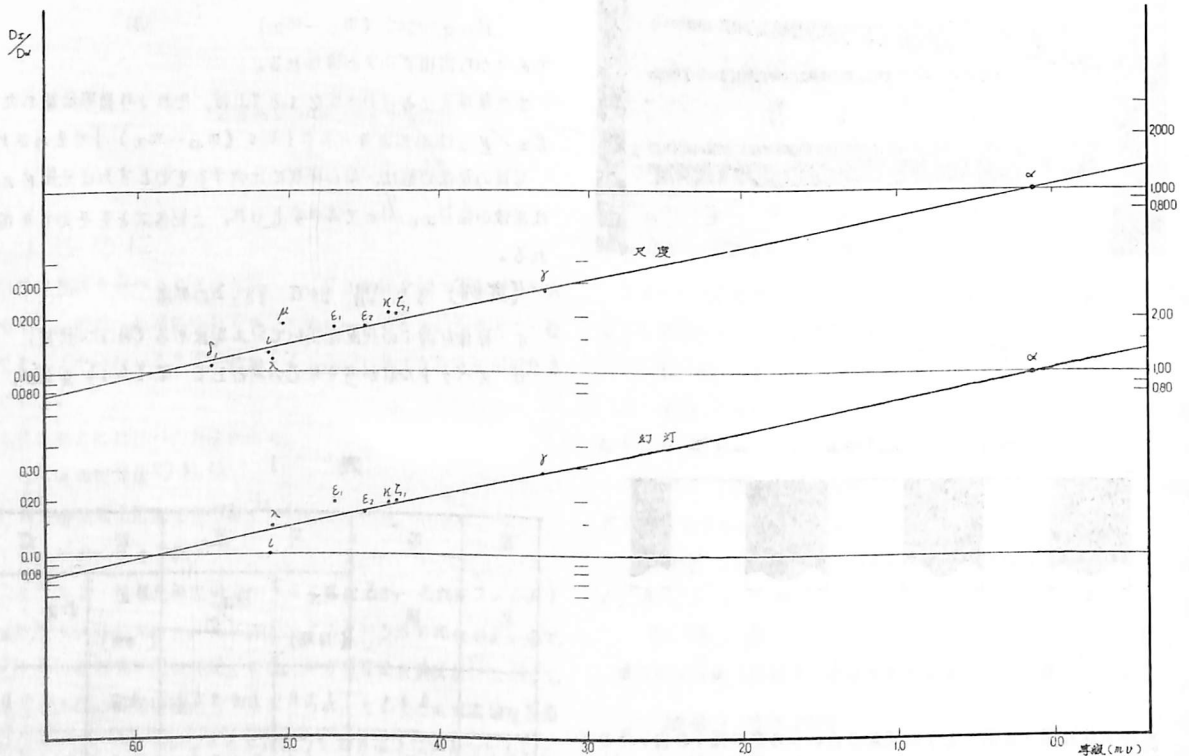
イ 星像を図1の尺度を用いて D_x を求める (表1・尺度)

ロ スペクトル型がA0に近い星として 星(A1)を選び、この

表 1

星名	等級	尺度		幻灯	
		D_x (目盛)	D_x/D_0	D_x (mm)	D_x/D_0
α	0.14	110	1.000	4.2	1.00
β	変	33	0.300	1.1	0.26
γ	3.30	30	0.273	1.2	0.28
δ_1	5.51	12	0.109		
δ_2	変	16	0.145		
ϵ_1	4.70	19	0.173	0.8	0.19
ϵ_2	4.50	19	0.173	0.7	0.17
ζ_1	4.29	23	0.208	0.8	0.19
ζ	5.13	14	0.127	0.4	0.10
η	4.34	23	0.208	0.8	0.19
λ	5.11	13	0.118	0.6	0.14
μ	5.04	20	0.182		

星との幅の比を求める。 (D_x/D_0)



ハ Dx/D_0 をグラフ上に書き込む。(図4—尺度)

ニ (2) 式から α 星より 3.00 および 6.00 等級離れた Dx/D_0 を求めて、グラフに書き込み直線で結ぶと星の光度と Dx/D_0 の標準直線が求められる。

$$D_3 = D_0 \cdot e^{-1.2} = D_0 \times 0.3012$$

$$D_6 = D_0 \cdot e^{-2.4} = D_0 \times 0.0907$$

ホ ハで得られた各星の Dx/D_0 の値との違いを比較する。

6 結果の検討

各星の Dx/D_0 はおおむね標準直線近くに並ぶが、部分的には一致しないものもある。

II その他の方法

1 幻灯機を用いて星像の幅を測定する方法

表1—幻灯は 表1 尺度と同一フィルムを幻灯機で投影して大洋紙くらの大きさに引き伸ばし、物指して幅を測定したものである。図4のように尺度を用いる方法とはほぼ同一結果が得られ、場所、時間の両面から考えて、場所をとる点が欠点である。

2 光抵抗体 または照度計を用いる方法

(1) 光抵抗体による方法

大洋紙の大きさの木の枠にトレーシング・ペーパーをつけたクリンに星像を投影して、星像の後から CdS 抵抗体をあてる。光抵抗体にはセレン整流器により 13~15 V の直流電圧をかけ、ミリ・アンペア計で、電流の強さを測定する。

(2) 照度計による方法

東芝照度計 5 号形 (低照度用) を使用し、幻灯機によって投影された星像の位置に受光面をおき、星像の黒味を測定した。

受光面に比べ像が小さいので、受光面の前に一番大きな星像が通る程度の穴をあけたボール紙をあてて、星像による黒い影の照度の比が少しでも正確に出るように努めた。測定にあたっては星像の照度を 3 回、星像の周囲の明るい部分 (空の部分) の照度は、なるべく平均化された値を得るために星像を中心とした四方の各点につき測定し、得られた値をおのおの平均して、星像および空の部分の照度とした。結果は表 3、図 6 のように信頼度が著しく少ない。

3 顕微鏡によりネガの像の幅を測定する方法

顕微鏡の載物台にネガをのせ、マイクロメーターを用いて直接星像の幅を測定する方法は、接眼・対物のいずれのマイクロメーターを用いた場合にも、次の二つの理由から長さの判定がしにくかった。

(1) ミクロメーターの目盛の線が、星像の粒子と同じ色調に見えて判別しにくい。

(2) できるだけ低倍率を用いたのであるが、像を作っている粒子の大きさにまで拡大され、星像と空の部分の境目も粒子の集まりの弱

表 2

星 名	実 視 等 級	ス ペ ク ト ル 型	色 指 数	NO 9-16		9-17		9-18		9-19					
				Lens 135mm		135		135		50		50			
				f 3.5		3.5		3.5		1.8		2.0			
				Filter なし		uv		Y2		なし		なし			
				露 出 30 sec		30		30		30		30			
Dx		Dx/D ₀		Dx		Dx/D ₀		Dx		Dx/D ₀		Dx		Dx/D ₀	
α	0.14	A1s	+0.03	23		37		18		73		57			
γ	3.30	B9sp	-0.03	5	0.217	12	0.324	7	0.390	32	0.438	28	0.491		
δ1	5.51	B3n	-0.22	3	0.131	4	0.108	4	0.222	8	0.110	8	0.142		
ε1	4.70	A4n	+0.12	4	0.174	6	0.162	3	0.167	11	0.151	10	0.175		
ε2	4.50	A3n	+0.09	4	0.174	6	0.162	4	0.222	12	0.164	11	0.193		
ζ1	4.29	dA9s	+0.29	7	0.304	9	0.243	7	0.390	17	0.237	15	0.263		
η	4.46	A5s	-0.16	7	0.304			4	0.222	20	0.274	16	0.280		
θ	4.46	gG9	+1.0	4	0.174			4	0.222	15	0.205	12	0.210		
ι	5.13	B6n	-0.13	3	0.131	5	0.135	3	0.167	13	0.178	10	0.175		
κ	4.34	GK1	+1.09					2	0.111	12	0.164	12	0.210		
λ	5.11	GK3	+1.06			3	0.018			10	0.137	9	0.158		
μ	5.04	A2	+0.07					3	0.167	10	0.137	9	0.158		
ν1	5.77	B3n	-0.22					1	0.056	6	0.084	6	0.105		
ν2	5.16	A2n	+0.07					2	0.111	9	0.123	9	0.158		

星 <
--

※ 等級とスペクトル型は東京天文台に問い合わせたもの。色指数は理科年表（昭和41年）天文54頁を参考にした。

図 5

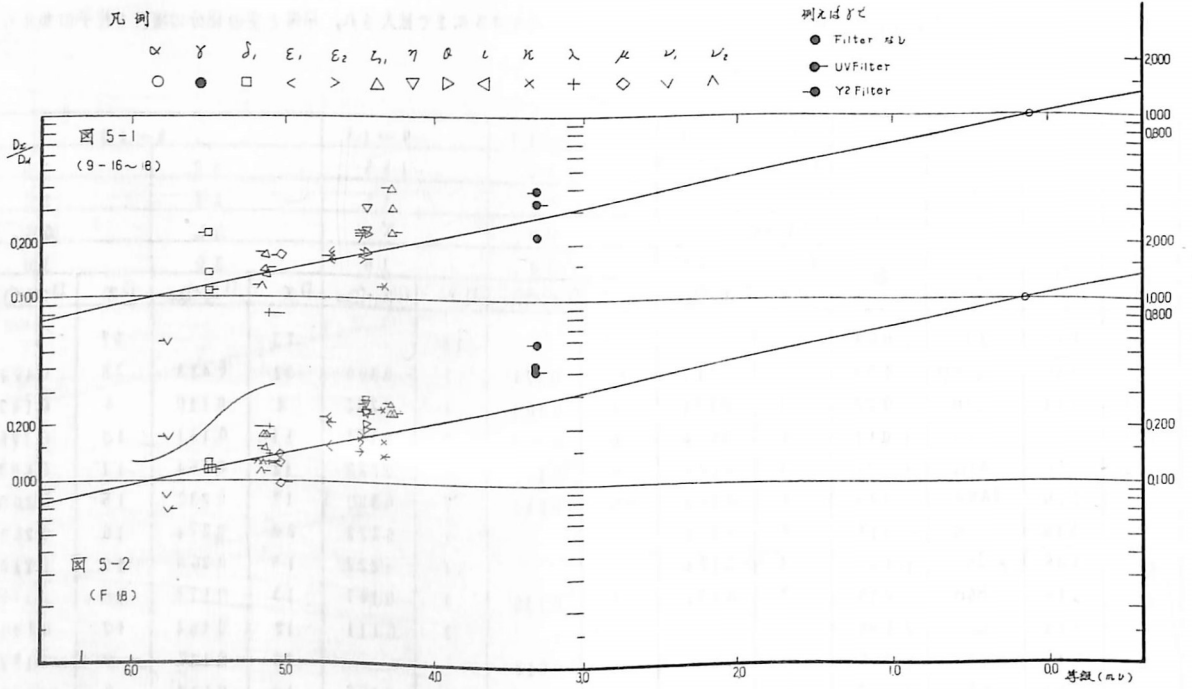


図 5

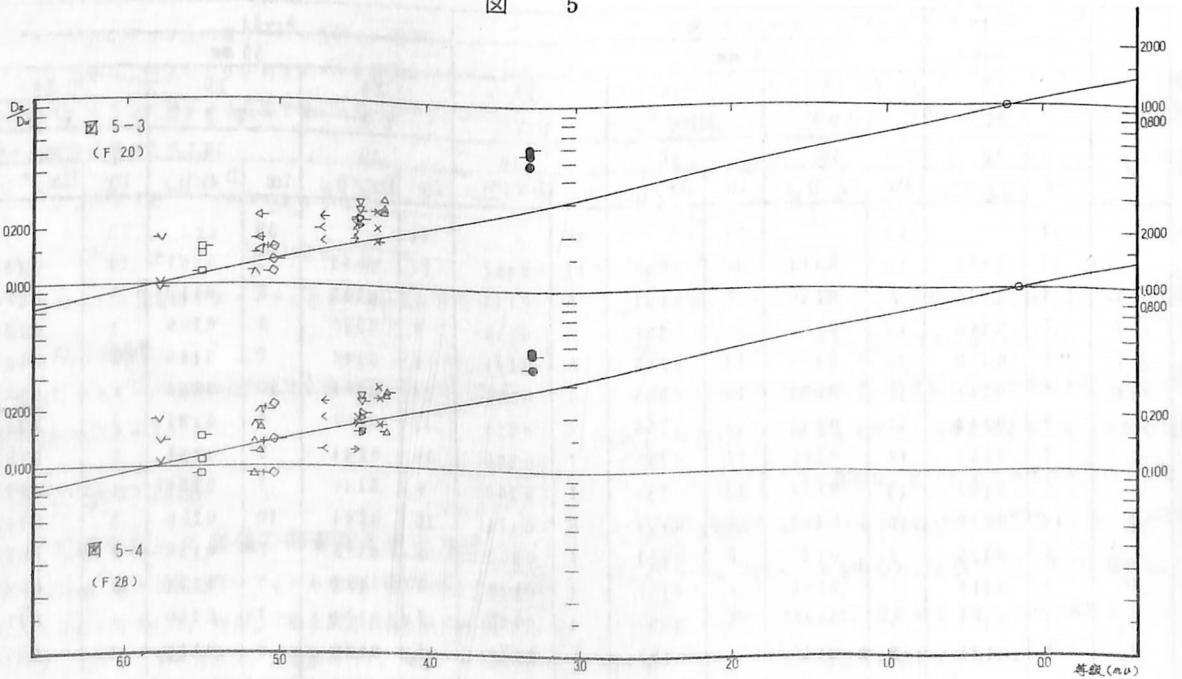
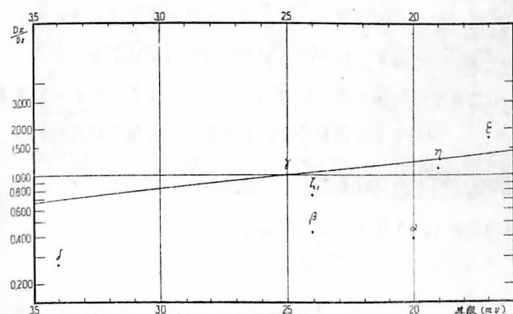


表 3

星名	等級 (スペクトル型)	像空	$\frac{\varepsilon}{\varepsilon'}$	$\frac{\Delta i}{\varepsilon - \varepsilon'}$	$\frac{\Delta ix}{\Delta i \delta}$
α	2.0 (K0)	i i'	3.85 3.54	0.31	0.393
β	2.4 (A1)	i i'	3.84 3.51	0.33	0.417
γ	2.5 (A0)	i i'	3.76 2.97	0.79	1.000
δ	3.4 (A3)	i i'	3.74 3.53	0.21	0.265
ε	1.7 (A1)	i i'	3.80 2.89	0.91	1.75
ζ_1	2.4 (A2)	i i'	3.75 3.14	0.61	0.772
η	1.9 (B3)	i i'	4.05 3.18	0.87	1.10

北斗七星 (1965, VII, 26d, 21.1h 撮影)

図 6



密な所から疎な所へと連続的に濃度が変化して見えるため、境界がきめにくい。

粒子が大きく見えるのは増感現象のためと思われるので、この点について改良を加えれば顕微鏡による方法は利用の余地はあると考えられる。

III レンズの焦点距離による違いとフィルタの影響について

A0型に近い明るい星を含み、その上135mm レンズを用いても星座全体が入るものとして、星座をえらび、実験した結果が、表2、図5である。(いずれも'65, VII, 27d, 23.2~24.0h 撮影)

1 レンズの焦点距離による違い (焦点距離135mmと50mmの場合)

135mm の場合は解像力もよく、特に ε_1 , ε_2 は明瞭に分離されるので同一倍率に引き伸ばせば135mmの方が精度は高くなる。

しかし、キャビネ特サイズに引き伸ばす程度であれば測定により生ずる誤差を考えれば50mm レンズによる撮影の方がよい。

2 フィルタによる影響

フィルムは人間には感じられないような短波長域でもよく感光する。このため写真による等級と肉眼による等級の間にはいくらかの違いがある。そこで写真によって決められる等級を写真等級 (m_p)・肉眼によって決められる等級を実視等級または眼視等級 (m_v) と呼び、この差 $m_p - m_v$ を色指数という。

しかし、この場合の乳剤は青乾板と呼ばれる非整色のもので定められたものであるため整色フィルムには、そのまま該当しないと思われる。このためフィルタを用いて短波長域をカットして感光域を変えてX線フィルムに関する色指数を求めてみたいと思った。

図5-1は135mmフィルムでF3.5の場合

図5-2~4はF1.8, F2.0, F2.8の場合のそれぞれについてフィルタをかけない場合 (○ならば・印) UVフィルタをかけた場合 (●印) Y2フィルタをかけた場合 (→印) について比較したものであるが、誤差の方が色指数を上まわり目的は果せなかった。

むすび

星野写真による星の等級の測定法は、Iの方法を用いれば理論的な値にかなり近づき、ある程度信頼のおける値が得られる。しかし、なお一部、測定値が理論値からかけ離れる場合もみられるので、今後は、測定法に改良を加え、一層信頼できる方法にしたい。さらに異なった方法を考え、高等学校や中学校などでも使用が可能なものにしていきたい。

参考文献

- 1) 数保男 科学の実験 1965年8月号 P62~69
- 2) 神田 清 変光星 P69~74 恒星社
- 3) 下保 茂 新天文学講座 VI P287~291 恒星社
- 4) 下保 茂 天体観測入門 P173~179 恒星社
- 5) 平瀬志富 実験ファイル100選 共立出版
- 6) 下保 茂 新天文学講座 VI P298~305 恒星社
- 7) 北村正利 新天文学講座 XI P107~114 恒星社
- 8) 藤波重次 小型カメラによる天体写真 共立出版社